

PENGHASILAN DAN PENCIRIAN KACA KRISTAL MENGUNAKAN PASIR SILIKA DARI SYARIKAT PALING KENANGAN YANG DITAMBAHNILAI

oleh

MOHAMAD HANIZA MAHMUD

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

Julai 2008

PENGHARGAAN

Bismillahirrahmanirrahim,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur ke hadrat Allah s.w.t kerana dengan limpah serta keizinanNya, saya dapat menyelesaikan projek sarjana dengan jayanya walaupun terpaksa menempuh pelbagai keperitan, dugaan dan cabaran.

Di halaman ini, saya ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada Prof. Ahmad Fauzi Bin Mohd Noor sebagai penyelia utama dan Dr. Hashim Bin Hussin sebagai penyelia bersama yang telah banyak meluangkan masa memberi tunjukajar dan bimbingan serta nasihat yang bernas sehingga kajian ini dapat disiapkan dengan sempurna.

Saya juga ingin merakamkan ucapan ribuan terima kasih kepada Dekan Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral (PPKBSM), Prof. Khairun Azizi Binti Mohd Azizli.

Seterusnya tidak ketinggalan kepada kakitangan Seksyen Teknologi Berasaskan Bahan Silika, Pusat Penyelidikan Mineral, Ipoh kerana membantu saya melakukan kerja-kerja kajian teknikal di makmal iaitu Encik Woo Lee Shin, Encik Mohd. Razli, Encik Suaid, Puan Suhaily, Encik Azizan dan Puan Siti Fatimah.

Penulis juga ingin merakamkan penghargaan berbanyak terima kasih kepada Pengarah Pusat Penyelidikan Mineral (PPM), Jabatan Mineral dan Geosains, Dato' Hj. Zulkifly Bin Abu Bakar dan Encik Mahadi Bin Abu Hassan, selaku Ketua Seksyen Silika kerana membenarkan penulis menggunakan kemudahan yang terdapat di PPM.

Tidak ketinggalan berbanyak kesyukuran kepada Illahi kerana penulis mempunyai ibu yang sering berdoa supaya anaknya berjaya dalam apa jua bidang asalkan boleh memberi manfaat di dunia dan di akhirat. Tidak ketinggalan kepada isteri, Puan Sharipah binti Setapa kerana sentiasa memberi sokongan dan galakan sepanjang tempoh pengajian ini. Dan penulis tidak lupa kepada anak-anak dan berdoa supaya mereka menjadi manusia yang soleh dan solehah.

Sekian, wasallam.

KANDUNGAN

Muka surat

Penghargaan	ii
Kandungan	iv
Senarai Rajah	ix
Senarai Jadual	xiii
Senarai simbol dan singkatan	xv
Abstrak	xvi
Abstract	xvii

BAB 1: PENGENALAN

1.1	Pasir silika	1
1.2	Latarbelakang sumber pasir silika	2
1.3	Industri kaca kristal di Malaysia	3
1.4	Pendekatan penghasilan kaca kristal	5
1.5	Objektif penyelidikan	6

BAB 2: KAJIAN PERSURATAN

2.0	Pengenalan	7
2.1	Kegunaan pasir silika	7
2.1.1	Pasir kaca	7
2.1.2	Silika kasar	8
2.1.3	Pasir binaan	8
2.1.4	Pasir fondri	8
2.1.5	Pasir penapis dan <i>proppant</i>	8
2.1.6	Pasir pembagasan (<i>blasting</i>)	9
2.1.7	Pasir terlakur (<i>fused</i>)	9
2.2	Pemprosesan pasir silika	9
2.3	Spesifikasi pasir silika	11
2.3.1	Sifat-sifat fizikal	11

2.3.2	Sifat-sifat kimia	13
2.4	Mineralogi	15
2.5	Pemrosesan mineral silika	16
2.5.1	Pengkonsentratasi graviti	16
2.5.2	Gosokan pergeseran	16
2.5.3	Alat pengasingan magnetik	17
2.5.4	Jenis-jenis pengasing magnetik	19
2.6	Pengenalan mengenai kaca	21
2.6.1	Teori pembentukan kaca	21
2.6.2	Fasa transformasi kaca	27
2.6.3	Teori tindak balas kimia dalam peleburan kaca	30
2.6.4	Proses penyepuhlindungan kaca	31
2.6.5	Kaedah penyepuhlindungan kaca Philips	32
2.7	Pengkelasan jenis-jenis kaca	34
2.7.1	Silika berkekaca (<i>vitreous silica</i>)	34
2.7.2	Kaca soda kapur (<i>soda lime glass</i>)	35
2.7.3	Kaca borosilikat	35
2.7.4	Kaca kristal plumbum	36
2.7.5	Kaca aluminosilikat	36
2.7.6	Kaca halida	37
2.8	Kaca kristal	37
2.8.1	Kaca kristal mengikut ASTM C162-56	37
2.8.2	Kaca kristal mengikut Kesatuan Eropah	38
2.8.3	Kaca kristal mengikut piawai British	39
2.8.4	Kaca kristal berasaskan paten US	40
2.8.5	Komponen umum bahan yang digunakan untuk menghasilkan kaca kristal	42
2.8.6	Kaedah penjernihan kaca	46
2.8.7	Pembentuk kaca, pengubahsuai kaca dan pembentuk pertengahan kaca	48
2.9	Sifat-sifat kaca	48
2.9.1	Sifat fizikal	48
2.9.2	Sifat pengembangan terma kaca	50

2.9.3	Sifat optik kaca	53
2.9.4	Ketumpatan kaca	55
2.9.5	Sifat-sifat kimia	58
2.9.5.1	Kesan pH larutan	58
2.9.5.2	Kesan komposisi terhadap ketahanan kimia	60

BAB 3: METODOLOGI

3.1	Pengenalan	61
3.2	Pemprosesan pasir silika	61
3.3	Persampelan dan penyediaan sampel pasir	63
3.4	Pencirian pasir silika	64
3.4.1	Analisis saiz partikel	64
3.4.2	Analisis menggunakan alat XRF	64
3.5	Analisis mineralogi	65
3.5.1	Analisis Mikroskop Zoom Stereo (MZS)	65
3.5.2	Analisis tenggelam – timbul (<i>Sink-float analysis</i>)	66
3.5.3	Mikroskop elektron imbasan (SEM) dan Spektroskopi serakan tenaga (EDXS)	67
3.6	Pemprosesan pasir silika asal PKN-1, PKN-2 dan PKN-3	67
3.6.1	Gosokan pergeseran	68
3.6.2	Pengasing magnetik kering (<i>DMS</i>)	68
3.6.3	Pengasing magnetik keamatan tinggi basah(<i>WHIMS</i>)	69
3.6.4	Pengasing tegangan tinggi(<i>HTS</i>)	70
3.7	Penyediaan pelet kaca kristal	70
3.7.1	Penghasilan serbuk pasir silika	71
3.7.2	Bahan kimia dan formulasi kaca kristal	72
3.7.3	Penghasilan pelet kaca kristal	75
3.8	Kajian penghasilan kaca kristal melibatkan peleburan pelet , tuangan, penyepuh lindapan dan pencirian kaca kristal	76
3.8.1	Peleburan	78
3.8.2	Kaedah tuangan	80

3.8.3	Proses penyepuhlindungan	80
3.9	Produk kaca kristal	81
3.10	Pencirian kaca kristal	81
3.10.1	Ketumpatan	82
3.10.2	Indeks biasan	83
3.10.3	Pengembangan terma	84
3.10.4	Kekerasan permukaan	85
3.10.5	Ujian ketahanan kimia kaca kristal	86
3.10.5.1	Kaedah pengiraan kadar kakisan kaca kristal	87
3.10.6	Punaran asid dan analisis dengan SEM-EDXS	87
3.10.7	Penghantaran cahaya	89

BAB 4: HASIL EKSPERIMEN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	91
4.2	Analisis mineralogi	91
4.2.1	Analisis Mikroskop Zoom Stereo (MZS)	91
4.2.2	Analisis tenggelam – timbul	94
4.2.3	Mineral-mineral yang wujud dalam pasir silika	96
4.2.4	Kesan gosokan pergeseran	97
4.2.5	Analisis pasir silika dengan SEM-EDXS	98
4.3	Analisis kandungan unsur kimia	101
4.4	Analisis saiz partikel	103
4.5	Analisis serbuk pasir silika	104
4.6	Penghasilan pelet kaca	105
4.7	Analisis peleburan, penuangan dan proses penyepuhlindungan kaca	107
4.7.1	Analisis hasil kaca kristal	109
4.8	Pencirian kaca kristal	116
4.8.1	Ketumpatan pukal	116
4.8.2	Indeks biasan	119
4.8.3	Kekerasan	122

4.8.4	Analisis pengembangan terma kaca	124
4.8.5	Ketahanan kimia kaca kristal	126
4.8.6	Kadar kakisan	128
4.8.7	Punaran asid dan pencirian dengan SEM-EDXS	130
4.8.7.1	Mikrostruktur kaca kristal setelah punaran dengan asid hidroflorik (HF)	133
4.8.7.2	Analisis kaca kristal dengan menggunakan EDXS	142
4.8.8	Penghantaran cahaya	149
 BAB 5: KESIMPULAN DAN CADANGAN		
5.1	Kesimpulan	151
5.2	Cadangan	153
 RUJUKAN		154
 LAMPIRAN		
	Lampiran 1	167
	Lampiran 2	168
	Lampiran 3	169
	Lampiran 4	170
	Lampiran 5	171
	Lampiran 6	174
	Lampiran 7	175
	Lampiran 8	176
 PENERBITAN		179

SENARAI RAJAH

Muka surat

Rajah 1.1: Prosedur proses penghasilan pasir silika di Syarikat Paling Kenangan Sdn. Bhd.	2
Rajah 2.1: Skema pemprosesan pasir silika (Mackay dan Schnellmann, 2000)	10
Rajah 2.2: Lakaran pengasing keamatan rendah	20
Rajah 2.3: Perubahan struktur rangkaian oleh oksida pertengahan (John, 2000)	24
Rajah 2.4: Perubahan struktur rangkaian oleh oksida pengubahsuai (John, 2000)	25
Rajah 2.5: Hubungan isipadu dan suhu bagi pembentukan kaca (Varshneya, 1994)	28
Rajah 2.6: Lengkung kelikatan tipikal bagi kaca (Philips, 1995)	30
Rajah 2.7: Skematik proses penyepuhlindungan kaca (Paten US 7087542B2,2006)	32
Rajah 2.8: Sepuhlindungan, hubungan di antara ketebalan dan suhu (Philips, 2006)	33
Rajah 2.9: Hubungan pengembangan terma kaca dengan suhu (Varshneya, 1994)	52
Rajah 2.10: Pembiasan cahaya yang mempunyai perbezaan indeks biasan (Wikipedia encyclopedia, 2007)	54
Rajah 2.11: Ketumpatan alkali kaca silikat (Varshneya, 1994)	57
Rajah 2.12: Ketumpatan beberapa kaca alkali borat (Varshneya, 1994)	58
Rajah 2.13: Kesan pH terhadap ketahanan kimia kaca silikat (Sahar, 1998)	60
Rajah 3.1: Prosedur proses dan pencirian pasir silika di peringkat kajian	62
Rajah 3.2: Alat Mikroskop Zoom Stereo (MZS)	65
Rajah 3.3: Gambarajah skematik kaedah tenggelam-timbul	66
Rajah 3.4: Proses pengasingan mineral menggunakan alat WHIMS	70

Rajah 3.5: Jar pengisar pasir silika	71
Rajah 3.6: Prosedur proses pembuatan pelet kaca kristal	75
Rajah 3.7: Alat pelletizer	76
Rajah 3.8: Prosedur kajian peleburan dan pencirian kaca kristal	77
Rajah 3.9: Relau suapan hadapan serta pengawal dari pandangan sisi	78
Rajah 3.10: Skematik peleburan kaca kristal	79
Rajah 3.11: Leburan kaca dikeluarkan dari relau dan dituang ke dalam acuan yang dipanaskan menggunakan penunu bunsen	80
Rajah 3.12: Peralatan untuk pengukuran ketumpatan	82
Rajah 3.13: Alat refraktometer Abbe	84
Rajah 3.14: Alat dilatometer Linseis, Jerman	84
Rajah 3.15: Kajian ketahanan kaca kristal formulasi 2990	87
Rajah 3.16: Kajian punaran asid kaca kristal dengan asid hidroflorik	88
Rajah 3.17: Skematik pengukuran penghantaran cahaya	90
Rajah 4.1: Pasir silika asal sebelum mengalami sebarang proses	92
Rajah 4.2: Pasir silika selepas diproses menggunakan prosedur PKN-1	92
Rajah 4.3: Pasir silika selepas diproses menggunakan prosedur PKN-2	93
Rajah 4.4: Pasir silika selepas diproses menggunakan prosedur PKN-3	93
Rajah 4.5: Mineral-mineral yang wujud pada fasa timbul	95
Rajah 4.6: Mineral-mineral yang wujud pada fasa tenggelam	95
Rajah 4.7: Pasir silika selepas proses gosokan pergeseran	97
Rajah 4.8: Pasir silika selepas proses gosokan pergeseran diikuti dengan pengasingan magnetik dan tegangan tinggi	98
Rajah 4.9: Sampel pasir silika asal dilihat menggunakan SEM-EDXS	99
Rajah 4.10: Spektrum analisis EDXS bagi sampel pasir silika asal	100

Rajah 4.11: Sampel pasir silika selepas proses gosokan pergeseran, pengasingan magnetik dan tegangan tinggi dilihat menggunakan SEM	100
Rajah 4.12: Spektrum analisis EDXS bagi sampel pasir silika yang diproses menggunakan teknik gosokan pergeseran, pengasingan magnetik dan tegangan tinggi	101
Rajah 4.13: Taburan saiz partikel sampel pasir silika asal	104
Rajah 4.14: Serbuk pasir silika proses selepas pengisaran	105
Rajah 4.15: Saiz pelet kaca kristal di antara 5 – 10 mm	106
Rajah 4.16: Produk kaca kristal yang dihasilkan pada suhu 1200°C	111
Rajah 4.17: Produk kaca kristal yang dihasilkan pada suhu 1300°C	112
Rajah 4.18: Produk kaca kristal yang dihasilkan pada suhu 1400°C	113
Rajah 4.19: Produk kaca kristal yang dihasilkan pada suhu 1400°C	114
Rajah 4.20: Produk kaca kristal yang dihasilkan pada suhu 1500°C	115
Rajah 4.21: Nilai purata ketumpatan kaca kristal formulasi 2990 dan formulasi 2590	117
Rajah 4.22: Nilai purata indeks biasan kaca kristal formulasi 2990	119
Rajah 4.23: Nilai purata indeks biasan kaca kristal formulasi 2590	120
Rajah 4.24: Nilai purata kekerasan Vickers bagi kaca kristal formulasi 2990	122
Rajah 4.25: Nilai purata kekerasan Vickers bagi kaca kristal formulasi 2590	123
Rajah 4.26: Nilai berat sebelum dan selepas rendaman dalam air suling bagi formulasi 2990	127
Rajah 4.27: Nilai berat sebelum dan selepas rendaman dalam air suling bagi formulasi 2590	127
Rajah 4.28: Peratus kehilangan berat kaca kristal formulasi 2990 selepas direndam dalam HF selama 40 dan 120 minit	131

Rajah 4.29: Peratus kehilangan berat kaca kristal formulasi 2590 selepas direndam dalam HF selama 40 dan 120 minit	132
Rajah 4.30: Mikrostruktur kaca kristal PKN-2990 (asal) sebelum dan selepas rendaman dalam asid hidroflorik 1%	136
Rajah 4.31: Mikrostruktur kaca kristal PKN-2990 (proses) sebelum dan selepas rendaman dalam asid hidroflorik 1%	137
Rajah 4.32: Mikrostruktur kaca kristal Philips-2990 sebelum dan selepas rendaman dalam asid hidroflorik 1%	138
Rajah 4.33: Mikrostruktur kaca kristal PKN-2590 (asal) sebelum dan selepas rendaman dalam asid hidroflorik 1%	139
Rajah 4.34: Mikrostruktur kaca kristal PKN-2590 (proses) sebelum dan selepas rendaman dalam asid hidroflorik 1%	140
Rajah 4.35: Mikrostruktur kaca kristal Philips-2590 sebelum dan selepas rendaman dalam asid hidroflorik 1%	141
Rajah 4.36: Spektrum analisis EDXS bagi kaca kristal PKN-2990 (proses)-40 minit	143
Rajah 4.37: Spektrum analisis EDXS bagi kaca kristal Philips-2990 yang dipunat selama 40 minit. Analisa diambil pada hablur kristal	144
Rajah 4.38: Spektrum analisis EDXS bagi kaca kristal PKN-2590 (asal) yang dipunat selama 40 minit	145
Rajah 4.39: Spektrum analisis EDXS bagi kaca kristal PKN-2590 (proses) yang dipunat selama 40 minit	146
Rajah 4.40: Spektrum analisis EDXS bagi kaca kristal Philips-2590 - tanpa punatan	147
Rajah 4.41: Spektrum analisis EDXS bagi kaca kristal Philips-2590 yang dipunat selama 40 minit	148

SENARAI JADUAL

Muka surat

Jadual 1.1: Anggaran nilai eksport barangan kaca yang berasaskan kaca kristal, (JMG, Malaysia Mineral Trade Statistics, 2006)	4
Jadual 1.2: Anggaran nilai import barangan kaca yang berasaskan kaca kristal, (JMG, Malaysia Mineral Trade Statistics, 2006)	5
Jadual 2.1: Taburan saiz partikel dan kandungan kelembapan, (BS 2975:1988)	12
Jadual 2.2: Piawai Malaysia MS 701:1981 pasir silika untuk pembuatan kaca	13
Jadual 2.3: Piawai British BS 2975:1988 pasir silika untuk pembuatan kaca	14
Jadual 2.4: Graviti spesifik bagi mineral berat dan mineral ringan, (Hashim, 1996)	15
Jadual 2.5: Sifat kekonduktiviti, kemagnetan dan graviti spesifik mineral yang terdapat bersama-sama dengan pasir silika, (Wills, 1992)	18
Jadual 2.6: Nombor koordinasi beberapa jenis unsur, (Shelby, 1997)	23
Jadual 2.7: Hubungan ion unsur dengan struktur kaca, (Sahar, 1998)	26
Jadual 2.8: Kadar sepuhlindapan terhadap ketebalan kaca, (Philips-2990)	33
Jadual 2.9: Spesifikasi kaca kristal - Piawai British, BS 3828:1973	39
Jadual 2.10: Bahan dan peratusan kandungan bagi kaca kristal paten US 20060240970A1	40

Jadual 2.11: Bahan dan peratusan kandungan bagi kaca kristal paten US 006391810B1	41
Jadual 2.12: Peratus kandungan bahan mentah mengikut jenis kaca secara am, (Persson, 1983)	47
Jadual 2.13: Teknik-teknik ujian kekerasan	50
Jadual 2.14: Pekali pengembangan linear bagi beberapa jenis bahan (Wikipedia encyclopedia, 2007)	53
Jadual 2.15: Ketumpatan pembentuk kaca pada suhu bilik, (Varshneya, 1994)	56
Jadual 3.1: Bahan kimia untuk penghasilan kaca kristal	72
Jadual 3.2: Perbandingan formulasi Philips-2990 dan Philips-2590	73
Jadual 3.3: Formulasi PKN-2990 (asal) dan PKN- 2990 (proses)	74
Jadual 3.4: Formulasi PKN-2590 (asal) dan PKN-2590 (proses)	74
Jadual 4.1: Keputusan ujian tenggelam-timbul bagi sampel pasir silika asal	94
Jadual 4.2: Keputusan analisis XRF bagi setiap saiz sampel pasir silika asal	102
Jadual 4.3: Keputusan analisis perbandingan pasir silika di antara sampel asal dan sampel selepas proses	103
Jadual 4.4: Kuantiti kandungan serbuk pasir silika proses selepas pengisaran	105
Jadual 4.5: Ketumpatan dan kekerasan Mohr bagi pelet kaca	107
Jadual 4.6: Suhu peralihan kaca kristal siri formulasi 2990 dan formulasi 2590	108
Jadual 4.7: Keputusan analisis terma kaca kristal berasaskan formulasi 2990	125
Jadual 4.8: Keputusan analisis terma kaca kristal berasaskan formulasi 2590	125
Jadual 4.9: Keputusan kadar kakisan kaca kristal terhadap larutan air suling	128
Jadual 4.10: Peratus penghantaran cahaya dalam julat jarak gelombang 570-800 nm	149

SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

DMS – Pengasing magnetik secara kering
EDXS – Spektroskopi serakan tenaga
EU – Kesatuan Eropah
HTS – Pengasing tegangan tinggi
Hz – Hertz
JMG – Jabatan Mineral dan Geosains
KHN – Nombor kekerasan Knoop
MZS – Mikroskop zoom stereo
PKN – Paling Kenangan
SEM – Mikroskop elektron imbasan
SI – Piawai antarabangsa
 T_d – Suhu kelembutan
 T_f – Suhu fiktif
 T_g – Suhu peralihan
 T_m – Suhu lebur
UV – Ultra ungu
VHN – Nombor kekerasan Vickers
WHIMS – Pengasing magnetik keamatan tinggi basah
XRF – Pendaflour sinar-X
 μm – Mikrometer

ABSTRAK

Dalam kajian ini, sampel pasir silika dari bekas lombong milik Syarikat Paling Kenangan Sdn. Bhd., Bandar Baru, Kedah telah dikaji kesesuaiannya untuk penghasilan kaca kristal. Berdasarkan Piawai Malaysia MS 701:1981 dan Piawai British 2975:1988 menetapkan bahawa pasir silika gred B yang mempunyai kandungan SiO_2 sebanyak 99.5% dan oksida-oksida lain seperti 0.015% ferum oksida dan 0.05% alumina adalah sesuai untuk tujuan tersebut. Peningkatan gred pasir silika telah dilakukan dengan menggunakan kaedah gosokan pergeseran, pengasingan magnetik keamatan tinggi basah (WHIMS) dan pengasingan tegangan tinggi (HTS). Dalam penyelidikan ini, kaca kristal mentah dalam bentuk pelet diperolehi daripada Philips Company Limited. Kaca kristal yang dihasilkan daripada pelet ini dijadikan perbandingan dengan kaca kristal yang dihasilkan menggunakan pasir silika asal dan pasir silika proses tempatan. Sebanyak enam sampel pelet kaca kristal disediakan, dua pelet daripada Philips Company iaitu Philips-2990, Philips-2590, dua sampel pelet pasir silika asal dan pasir silika proses yang disediakan mengikut formulasi philip dinamakan sebagai, PKN-2990 (asal), PKN-2990 (proses), PKN-2590 (asal) dan PKN-2590 (proses). Dalam penghasilan produk kaca kristal, empat suhu peleburan dikaji, iaitu suhu 1200°C, 1300°C, 1400°C dan 1500°C. Setelah peleburan dijalankan, ke empat-empat produk kaca kristal dinilai secara fizikal dari segi kesempurnaan peleburan seperti kewujudan gelembung udara dalam kaca kristal. Pencirian ke atas kaca kristal seperti ketumpatan pukal, indeks biasan dan kekerasan permukaan dilakukan dengan berpanduan piawaian British BS 3828:1973. Nilai yang diperolehi daripada ujian ini seterusnya dibuat perbandingan. Selain itu, pencirian lain juga dikaji seperti kajian analisa terma, ketahanan kaca kristal dalam persekitaran berair serta ketahanan kaca kristal terhadap punaran kimia dengan menggunakan asid hidroflorik. Pengecaman unsur-unsur yang wujud dalam kaca kristal dilakukan dengan menggunakan alat SEM-EDXS serta pengukuran penghantaran cahaya yang dikenakan ke atas kaca kristal. Secara amnya, pasir silika daripada Syarikat Paling Kenangan Sdn. Bhd boleh diproses sehingga gred B seandainya ia diproses menggunakan peralatan yang terpilih dan seterusnya menjadi sumber untuk penghasilan kaca kristal menurut formulasi kaca kristal Philips-2990 dan Philips-2590. Dari segi pencirian fizikal seperti ketumpatan, indeks biasan dan kekerasan permukaan didapati kaca kristal yang dihasilkan menggunakan pasir silika paling kenangan adalah hampir setanding dengan kaca kristal philips. Malah dalam kes kaca kristal berplumbum didapati ia memenuhi piawai spesifikasi kaca kristal BS 3828:1973.

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CRYSTAL GLASS USING UPGRADED SILICA SAND FROM SYARIKAT PALING KENANGAN

ABSTRACT

In this study, the suitability of ex-mining sand samples for the production of crystal glass were obtained from Syarikat Paling Kenangan Sdn Bhd., Bandar Baru, Kedah. According to Malaysia standard MS 701:1981 and British standard 2975:1988, grade B silica sand is suitable for manufacturing crystal glass. Grade B silica sand contains 99.5% SiO₂ and other oxides such as 0.015% iron oxide and 0.05% alumina. In order to improve the quality of ex-mining silica sand, some selected processes were carried out such as attrition scrubbing method, wet high intensity magnetic separator (WHIMS) and high tension separator (HTS). In this work, raw crystal glass in the form of pellets were obtained from Philips Company Limited. Crystal glass produced from these pellets was then used as a comparison for the crystal glass produced from original and processed local ex-mining sand. A total of six crystal glass samples in the form of pellets were prepared. They are two pellet samples from Philips Company namely as Philips-2990 and Philips-2590, two pellet samples from original and processed ex-mining silica sand were prepared according to these philip formulation and named as PKN-2990 (original), PKN-2990 (processed), PKN-2590 (original) and PKN-2590 (processed) respectively. In the production of crystal glass, four melting temperatures 1200°C, 1300°C, 1400°C and 1500°C were studied. After melting process, physical evaluation on the crystal glass products were performed pertaining to complete accomplishment of melting such as existing of bubbles inside crystal glasses. The characterisation study of crystal glass such as bulk density, refractive index and surface hardness were carried out according to British Standard BS 3828:1973. The test values obtained from the analysis were compared. Besides that, other properties such as , thermal analysis, chemical durability in aquas and in the hydroflouric acid (HF) environment during etching were also investigated. Identification of elements present in the crystal glass were also carried out with the aid of SEM-EDXS and the measurement of light transmission through crystal glass. In general, with the right selection of mineral processing equipments ex-mining silica sand from Syarikat Paling Kenangan Sdn. Bhd. can be processed up to B grade silica sand and be a source of crystal glass according to Philips 2990 and 2590 formulation. In term of physical characterization such as density, refractive index and surface hardness. It was found that crystal glass produced from Syarikat Paling Kenangan silica sand was comparable with crystal glass philips. But in the case of leaded crystal glass, it meets the standard as stipulated by BS 3828:1973.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pasir silika

Pasir silika merupakan bahan mentah utama dalam pembuatan kaca. Komposisi kimia pasir silika adalah kriteria penting dalam menentukan kesesuaian gred pasir untuk penghasilan pelbagai jenis kaca (Gwosdz, 1990). Kehadiran bendasing dalam kandungan pasir silika akan mencorakkan gred pasir berkenaan. Pasir silika yang sesuai untuk penghasilan kaca mempunyai sifat-sifat fizikal dan kimia tertentu seperti yang dijelaskan dalam Piawai Malaysia, MS 701:1981 dan Piawai, BS 2975: 1988. Gred pasir silika dikategorikan mengikut kandungan silikon oksida dan oksida-oksida lain yang terdapat dalam sampel pasir silika tersebut.

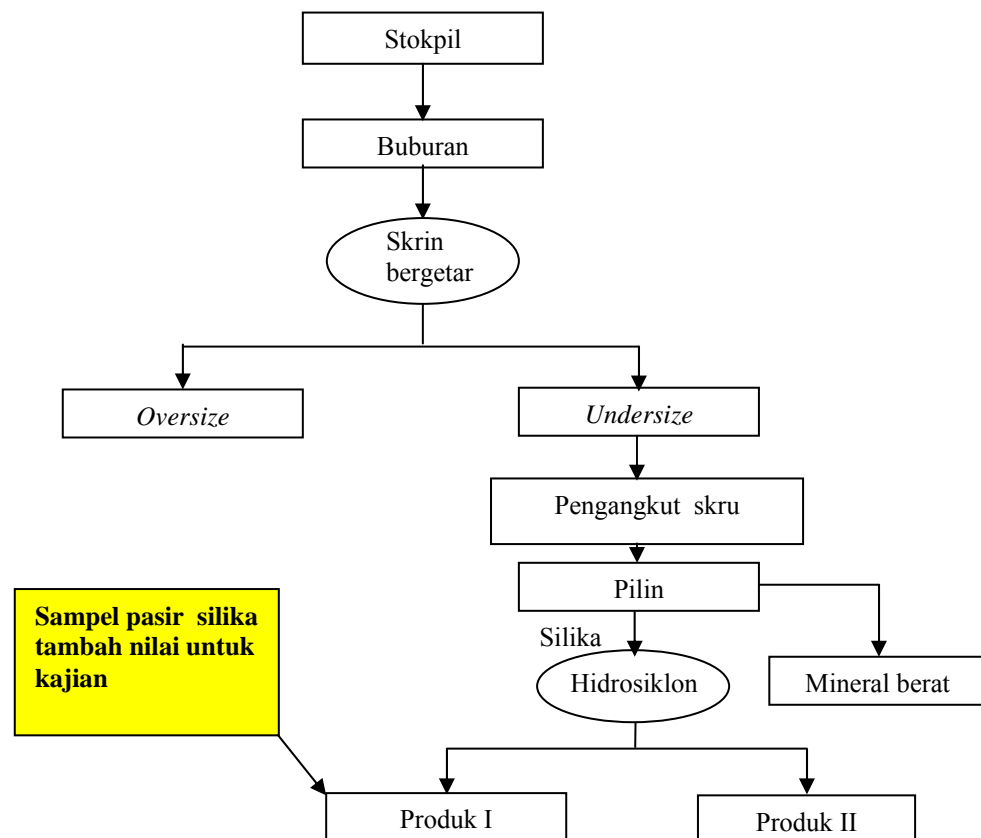
Umumnya, pasir silika berkualiti mengandungi SiO_2 di antara 99.0 dan 99.8%. Kandungan oksida-oksida lain seperti ferum oksida (Fe_2O_3) dengan had maksimum bagi pasir kaca kristal adalah 0.015%. Manakala alumina (Al_2O_3) pula dengan nilai kandungan maksimum adalah 0.05% (MS 701:1981).

Pada asasnya, pasir silika dari bekas lombong adalah bergred rendah dan digunakan sebagai bahan binaan industri dan bahan campuran dalam pembuatan simen. Namun begitu, pasir silika ini boleh ditingkatkan kualitinya supaya ia sesuai dijadikan bahan utama bagi penghasilan kaca kristal. Dalam penyelidikan ini tumpuan diberikan kepada mempertingkatkan gred pasir silika bekas lombong dan kemudian menghasilkan kaca kristal,

seterusnya diikuti dengan pencirian kaca kristal. Mengikut laporan yang dikemukakan oleh Syarikat Paling Kenangan Sdn. Bhd. didapati kualiti pasir silika mempunyai kandungan SiO_2 di antara 99.05 – 99.58%. Di samping itu, oksida-oksida lain seperti ferum oksida (Fe_2O_3), kandungannya adalah 0.04% dan alumina (Al_2O_3) di antara 0.20 -0.35%.

1.2 Latarbelakang sumber pasir silika

Rajah 1.1 menunjukkan carta alir proses penghasilan pasir silika di Syarikat Paling Kenangan Sendirian Berhad. Syarikat tersebut terletak di Mukim Terap, Serdang, Kedah.



Rajah 1.1: Prosedur proses penghasilan pasir silika di Syarikat Paling Kenangan Sdn. Bhd.

Luas kawasan longgokan pasir silika milik syarikat ini ialah 114 ekar dengan anggaran rizab lebih kurang 5 juta tan. Secara ringkas, proses bermula dengan longgokan stokpil dijadikan buburan dan dialirkan ke skrin penggetar. Dari sini, produk pasir silika akan dibahagi kepada dua, iaitu produk saiz atas (oversize) dan produk saiz bawah (undersize). Produk saiz bawah diangkut dengan menggunakan pengangkut skru dan disuap ke bahagian atas pilin.

Seterusnya diproses melalui hidrosiklon sehingga menghasilkan dua produk yang dikenali sebagai produk I dan produk II. Produk I (+180 - 900 μm) diambil sebagai bahan kajian manakala produk II (saiz pasir < 180 μm) disimpan di stokpil. Produk II tidak dipilih kerana tidak sesuai untuk dijadikan bahan mula pembuatan kaca kristal. Selain itu, produk I sahaja dikomersialkan oleh Syarikat Paling Kenangan Sdn. Bhd. kepada kilang membuat benang bulu kaca di Pulau Pinang (Khairul Azman, Pengurus, 2005).

1.3 Industri kaca kristal di Malaysia

Pada umumnya, kaca kristal adalah barangan hiasan yang menjadi tarikan kepada pengemar barangan kaca tradisional. Pada masa ini terdapat dua kilang pengeluaran kaca kristal di Malaysia, iaitu Syarikat Faizy Crystal Glass Blowing Sdn. Bhd. dan PL Crystal Village Sdn. Bhd. Kedua-dua buah kilang tersebut terletak di Pulau Langkawi, Kedah. Namun begitu, bahan mentah dalam bentuk pelet (*semi-finished*) yang digunakan untuk penghasilan kaca kristal masih diimport dari luar negara, iaitu Holland dan ini menambahkan kos hasilan kaca kristal.

Jadual 1.1 menunjukkan nilai barangan kaca kristal yang dieksport ke luar negara. Dari jadual tersebut didapati jumlah eksport yang paling tinggi berlaku pada tahun 2004 , iaitu barangan berasaskan perkakas dapur dengan nilai sebanyak RM 178,792.00. Manakala bagi barangan selain daripada perkakas dapur, nilai eksport tertinggi adalah pada tahun 2005 dengan nilai sebanyak RM66,686.00.

Jadual 1.1: Anggaran nilai eksport barangan kaca yang berasaskan kaca kristal (JMG, Malaysian Mineral Trade Statistics, 2006)

Tahun Keterangan	Barangan kaca untuk perkakas dapur diperbuat daripada kaca kristal	Barangan kaca selain daripada perkakas dapur diperbuat daripada kaca kristal	Kaca minuman diperbuat daripada kaca kristal
2003	10,031.80 kg.	33,600 kg.	2,030 kg.
	RM 132,851.00	RM 9,576.00	RM 15,680.00
2004	15,865.87 kg.	80,000 kg.	-
	RM 178,792.00	RM 18,194.00	-
2005	-	80,881 kg.	223 kg.
	-	RM 66,686.00	RM 11,641.00
2006	1,180.24 kg.	-	-
	RM 34,401.00	-	-

Jadual 1.2 menunjukkan jumlah import barangan kaca kristal dari tahun 2003 hingga tahun 2006. Dari data tersebut, didapati jumlah import yang tertinggi berlaku pada tahun 2006 dengan nilai import melebihi 3 juta ringgit bagi barangan kaca berasaskan barangan dapur. Bagi barangan kaca minuman, nilai import yang terbesar berlaku pada tahun 2004 dengan nilai

import melebihi sejuta ringgit. Manakala nilai import yang terendah berlaku pada tahun 2005 dengan jumlah menghampiri RM110,000.00.

Jadual 1.2: Anggaran nilai import barangan kaca yang berasaskan kaca kristal (JMG, Malaysian Mineral Trade Statistics, 2006)

Tahun Keterangan	Barangan kaca untuk perkakas dapur diperbuat daripada kaca kristal	Barangan kaca selain daripada perkakas dapur diperbuat daripada kaca kristal	Kaca minuman diperbuat daripada kaca kristal
2003	59,778.70 kg.	10,305.80 kg.	12,896.00 kg.
	RM 776,776.00	RM 172,129.00	RM 198,391.00
2004	57,917.08 kg.	21,081.04 kg.	54,611.69 kg.
	RM 633,706.00	RM 214,117.00	RM 1,558,222.00
2005	17,103.34 kg.	3,785.84 kg.	6,330.54 kg.
	RM 423,894.00	RM 109,983.00	RM 295,775.00
2006	217,099.40 kg.	12,233 kg.	6,709.00 kg.
	RM 3,214,536.00	RM 136,676.00	RM 134,676.00

Berdasarkan maklumat nilai import dan eksport barangan kaca kristal yang diperbuat daripada kaca kristal, ini menunjukkan bahawa betapa pentingnya penghasilan kaca kristal menggunakan pasir silika tempatan bagi meningkatkan nilai eksport. Seterusnya menambahkan pendapatan ekonomi negara.

1.4 Pendekatan penghasilan kaca kristal

Dalam kajian ini dua jenis kaca kristal dihasilkan, iaitu formulasi Philips-2590 dan Philips-2990. Formulasi Philips-2590 mengandungi plumbum oksida (PbO) manakala formulasi Philips-2990 pula, PbO diganti dengan

barium oksida (BaO). Kedua-dua formulasi ini diperolehi daripada Phillips Company Limited, Holland. Komposisi kimia bagi kedua-dua formulasi tersebut dijelaskan dalam Bab 3.

Sebanyak enam sampel kaca kristal dikaji, iaitu PKN-2990 (asal), PKN-2990 (proses), Philips-2990, PKN-2590 (asal), PKN-2590 (proses) dan Philips-2590. Dalam penghasilan sampel kaca kristal, peleburan kaca dijalankan dengan menggunakan relau suapan hadapan yang bersuhu tinggi (1600°C) manakala sepuhlindapan kaca pula menggunakan relau bersuhu rendah (700°C). Penyediaan sampel pelet kaca dibuat dengan menggunakan pasir silika asal dan proses. Kajian pencirian dilakukan terhadap ke enam-enam kaca kristal yang dihasilkan dan data-data yang diperolehi dibandingkan.

1.5 Objektif Penyelidikan

Objektif kajian ini adalah untuk :

- a) Meningkatkan gred pasir silika dari bekas lombong melalui pemilihan proses bersesuaian supaya pasir silika yang diperolehi itu dapat memenuhi spesifikasi pasir silika untuk pembuatan kaca kristal.
- b) Mencirikan kaca kristal yang dihasilkan dari pasir silika tempatan dan membandingkan dengan kaca kristal formulasi Philips serta spesifikasi kaca kristal BS 3828:1973.

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

2.0 Pengenalan

Bab ini menerangkan mengenai kegunaan pasir silika, spesifikasi pasir silika secara fizikal dan kimia, mineralogi pasir silika, pemprosesan mineral, teori pembentukan kaca, peleburan kaca, definisi kaca dan kaca kristal, pengkelasan jenis-jenis kaca dan pencirian kaca kristal.

2.1 Kegunaan pasir silika

Pasir silika mempunyai kegunaan yang sangat meluas dalam kehidupan manusia hari ini. Sebagai contoh ia digunakan sebagai pasir kaca, silika kisar, pasir binaan, pasir fondri, pasir penapis dan *proppant*, pasir pembagasan (*blasting*) dan silika terlakur (Mackay dan Schnellmann, 2000; Shuffleberger dan Jarr, 1977).

2.1.1 Pasir kaca

Pasir silika digunakan dalam industri kaca terutama untuk menghasilkan kaca soda dan kaca kapur silika. Ketulenan pasir silika dan bahan mentah lain untuk membentuk kaca bergantung kepada jenis kaca yang hendak dihasilkan. Pada umumnya kehadiran bendasing boleh menyebabkan kaca menjadi berwarna. Walau bagaimanapun, bendasing yang tinggi kuantitinya boleh diterima bagi menghasilkan kaca yang berwarna seperti kaca botol berwarna hijau dan ungu (Persson, 1983). Di samping itu, keseragaman dan ketulenan komposisi kimia serta saiz juga merupakan faktor yang penting bagi menentukan kesesuaian pasir silika tersebut. Menurut Mackay dan

Schnellmann (2000) serta Gwosdz (1990), saiz partikel pasir silika yang sesuai untuk pembuatan kaca ialah di dalam julat 100 μm - 600 μm .

2.1.2 Silika kasar

Silika kasar digunakan dengan meluas sebagai bahan pengisi atau pigmen dalam pembuatan cat, plastik, bahan pelekat dan getah. Dalam industri cat, misalnya, silika kasar berfungsi sebagai agen pemampatan (*flattening agent*) dan juga untuk mempertingkatkan kekuatan dan rintangan terhadap lelasan dan luluhawa (Gwosdz, 1990; Bolgar, 1996).

2.1.3 Pasir binaan

Pasir silika juga digunakan sebagai bahan binaan. Ia digunakan sebagai bahan dalam konkrit dan mortar. Pasir silika merupakan bahan murah dan senang diperolehi untuk kerja-kerja pembinaan (Mackay dan Schnellmann, 2000; Shuffleberger dan Jarr, 1977).

2.1.4 Pasir fondri

Dalam bidang fondri logam ferus dan bukan ferus pula, pasir silika digunakan untuk pembuatan acuan logam. Ketulenan pasir silika yang dikehendaki adalah 98.00% dengan pasir silika berbentuk butiran yang seragam (Mackay dan Schnellmann, 2000).

2.1.5 Pasir penapis dan *proppant*

Pasir silika banyak digunakan untuk media penapisan air. Untuk tujuan ini, pasir silika mestilah bebas daripada lempung, habuk dan bahan organik.

Keseragaman saiz pasir silika adalah kriteria yang penting untuk melicinkan pengaliran air. Manakala pasir *proppant* pula digunakan dalam industri pengeluaran minyak dan gas. Pasir silika dengan bentuk butiran bulat dapat mengawal tekanan semasa pengerudian di telaga minyak. Julat saiz partikel pasir adalah di antara 100 μm dan 3 mm (Mackay dan Schnellmann, 2000).

2.1.6 Pasir pembagasan (*blasting*)

Pasir silika digunakan untuk pembersihan permukaan logam dan juga konkrit, masonry, bata dan lain-lain. Untuk tujuan ini, pasir silika bentuk butiran bersudut digunakan kerana dapat memberi kesan yang sempurna kepada permukaan semburan (Mackay dan Schnellmann, 2000).

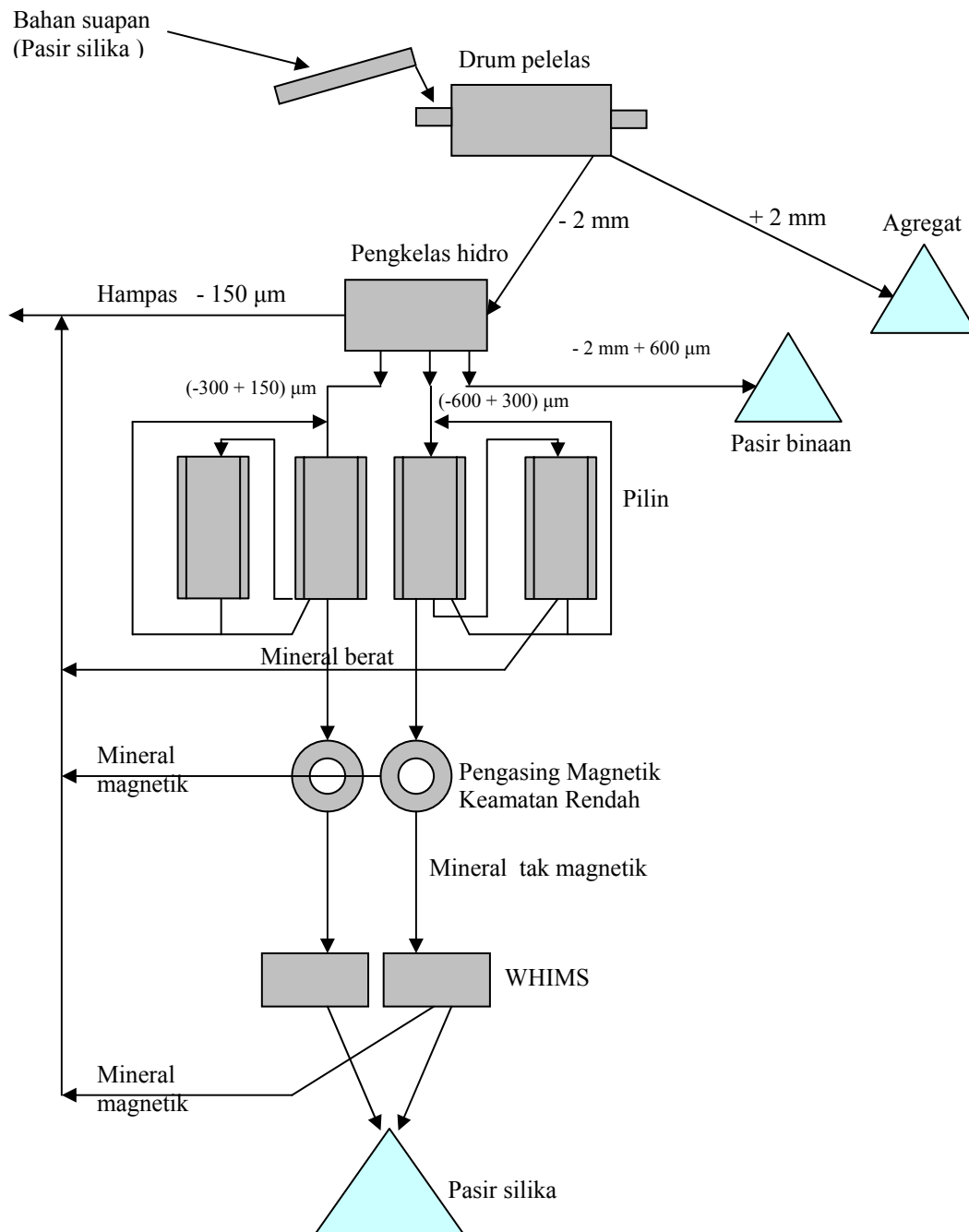
2.1.7 Silika terlakur (*fused*)

Silika terlakur diperolehi daripada pasir silika berkualiti tinggi dan hablur kuarza. Ia digunakan untuk pembuatan refraktori, pengisi tuangan, lapisan rintangan kakisan dan pengisi resin epoksi (Gwosdz, 1990; Bolgar, 1996).

2.2 Pemprosesan pasir silika

Rajah 2.1 menunjukkan carta alir pemprosesan pasir silika yang tipikal bagi menghasilkan pasir silika yang berkualiti, iaitu memenuhi spesifikasi pasir silika yang sesuai untuk pembuatan kaca. Pasir silika disuap ke dalam drum pelelas. Produk daripada drum pelelas diskrim dengan menggunakan *trommel* yang mempunyai bukaan 2 mm. Dua produk pasir silika diperolehi, iaitu partikel yang bersaiz lebih besar daripada 2 mm (saiz atas) dan partikel yang bersaiz lebih kecil daripada 2 mm (saiz bawah). Pasir silika bersaiz

atas disimpan sebagai agregat manakala saiz partikel bersaiz bawah melalui proses pengkelasan menggunakan alat pengkelasan saiz.



Rajah 2.1: Skema pemprosesan pasir silika, (Mackay dan Schnellmann, 2000)

Pengkelas hidro pertama dilaraskan supaya menghasilkan produk pasir silika bersaiz melebihi 600 μm . Saiz ini disimpan sebagai bahan binaan industri. Pengkelas hidro kedua dilaraskan untuk mengeluarkan saiz pasir silika (-600 + 300) μm dan pengkelas hidro ketiga bagi saiz pasir silika (-300 +150) μm . Produk pasir silika aliran atas (*overflow*), iaitu yang keluar daripada pengkelas hidro ketiga, yang bersaiz kurang daripada 150 μm dibuang sebagai hampas.

Hasil *spigot* daripada pengkelas hidro kedua dan ketiga dipam ke pengagih (*distributor*) dengan ketumpatan pulpa diubahsuai sebelum dihantar ke alat pengasingan pilin. Konsentrat pilin dipam ke pilin pencuci untuk proses pensaizan. Bagi saiz pertengahan dikitar semula ke pengagih suapan pilin, manakala hampas dialirkan ke pengasing magnetik keamatan rendah. Proses seterusnya adalah melalui pengasing magnetik keamatan tinggi basah dan akhirnya memperolehi produk pasir kaca.

2.3 Spesifikasi pasir silika

Spesifikasi pasir silika dapat dibahagi kepada dua sifat, iaitu sifat fizikal dan sifat kimia.

2.3.1 Sifat-sifat fizikal

Secara umumnya, pasir silika yang digunakan untuk pembuatan kaca seharusnya bersaiz halus (100-600 μm) supaya peleburan kaca berlaku dengan sempurna. Sekiranya pasir silika bersaiz kasar kemungkinan berlaku peleburan tidak lengkap dan hasilnya kaca kelihatan tidak cantik seperti terbentuk garisan rangkuman. Walau bagaimanapun jika partikel

tersangat halus, peleburan terjadi dengan cepat dan pembentukan gelembung udara akan muncul dan ianya tidak dapat disingkirkan walaupun menggunakan agen penjernihan. Selain itu, pasir silika halus juga akan terbebas bersama-sama udara panas ketika suapan dimasukkan ke dalam relau (Gwosdz,1990).

Jadual 2.1 menunjukkan taburan saiz partikel dan kandungan kelembapan bagi pasir silika yang biasa terdapat untuk pembuatan kaca di peringkat industri.

Jadual 2.1: Taburan saiz partikel dan kandungan kelembapan (BS 2975:1988)

Gred	% H ₂ O	>1 mm	>710µm	>500µm	>355µm	>250µm	>125 µm	<90 µm
A	5.0 \pm 0.5	-	-	-	-	15 %	5 %	-
B	4.5 \pm 0.5	-	0.25%	5 %	-	-	5 %	-
C	4.5 \pm 0.5	-	0.25 %	5 %	-	-	13 %	-
D	4.5 \pm 0.5	-	0.25 %	5 %	-	-	5 %	-
E	5.0 \pm 0.5	-	0.25%	5 %	-	-	5 %	-
F	4.5 \pm 0.5	-	0.25%	5 %	-	-	5 %	-
G	0.1	-	-	-	-	20 %	-	-

Pasir silika bergred B adalah pasir yang sesuai untuk kaca kristal. Pasir silika mestilah mengandungi kelembapan sekitar $4.5 \pm 0.5\%$. Di samping itu, saiz partikel pasir silika hendaklah terkumpul di atas pengetar bukaan 710 µm tidak melebihi 0.25% dan terkumpul pada bukaan pengetar 500 µm tidak

melebihi 5%. Selain daripada itu, saiz pasir silika yang melepasi bukaan 125 μm tidak melampaui tahap 5 %.

2.3.2 Sifat-sifat kimia

Selain daripada sifat fizikal, satu lagi rujukan yang perlu dilakukan adalah merujuk kepada sifat-sifat kimia pasir silika. Bagi sifat kimia, dua rujukan digunakan, iaitu piawai Malaysia dan piawai British.

Jadual 2.2: Piawai Malaysia MS 701:1981 pasir silika untuk pembuatan kaca

Gred	Kegunaan	%SiO ₂ min.	%Fe ₂ O ₃ maks.	%Al ₂ O ₃ maks.	Cr ₂ O ₃ ppm maks.	%TiO ₂ maks.	CaO+Mg O %maks.	Kehilangan pembakaran %maks.
A	Kaca optik	99.80	0.008	0.05	2	0.03	0.05	0.20
B #	Kaca bergred tinggi dan kaca hiasan	99.50	0.015	0.05	2	0.05	0.05	0.20
C	Kaca tanpa warna termasuk kontener	98.50	0.03	0.10	6	0.10	0.10	0.50
D	'Flint glass'	95.00	0.03	4.00	-	-	0.50	0.80
E	Kaca 'sheet, rolled' dan kaca gilap	98.50	0.05	0.50	-	-	0.50	0.80
F	Kaca jendela	98.00	0.30	0.50	-	-	0.50	0.80
G	Kaca 'green'	95.00	0.30	4.00	-	-	0.50	0.80
H	Kaca 'amber'	98.00	1.00	0.50	-	-	0.50	0.80

Gred pasir kaca kristal.

Jadual 2.2 menunjukkan Piawai Malaysia MS 701:1981 yang menyatakan kandungan oksida yang hadir dalam pasir silika untuk gred kaca yang berbeza. Umumnya, penghasilan kaca memerlukan pasir silika dengan kandungan sekurang-kurangnya 95% SiO₂ dan bergantung kepada jenis kaca yang hendak dihasilkan. Begitu juga dengan oksida-oksida lain seperti Fe₂O₃, Al₂O₃, Cr₂O₃, TiO₂, MgO dan CaO.

Jadual 2.3 menunjukkan Piawai British, BS 2975:1988 bagi gred pasir silika yang digunakan untuk menghasilkan pelbagai jenis kaca yang berbeza.

Jadual 2.3: Piawai British BS 2975:1988 pasir silika untuk pembuatan kaca

Gred	Kegunaan	%SiO ₂ min.	%Fe ₂ O ₃ maks.	%Al ₂ O ₃ maks.	Cr ₂ O ₃ ppm maks.	Cu, Ni,Co, V, ppm maks.	CaO+ MgO %maks	Kehilangan pembakaran %maks
A	Kaca optik dan Optalmik	99.70	0.013	0.2	1.5	1,1,1,3		0.20
B#	Kaca tembikar meja dan kaca kristal plumbum	99.60 ± 0.1	0.010	0.2 ± 0.1	2			0.10
C	Kaca borosilikat	99.80 ± 0.1	0.010	0.2 ± 0.1	2			0.10
D	Kaca bekas tanpa warna	98.80 ± 0.2	0.03 ± 0.03	Nominal ± 0.1	5			0.2 ± 0.02
E	Kaca apung	99.00 ± 0.2	0.10 ± 0.005	0.50 ± 0.15				0.2
F	Kaca bekas berwarna	97.00 ± 0.3	0.25 ± 0.03	Nominal ± 0.1				0.5±0.1
G	Kaca gentian untuk penebatan	94.50 ± 0.5	0.30 ± 0.05	3.00 ± 0.5			2.5± 0.3	0.5

Gred pasir kaca kristal

2.4 Mineralogi

Kajian mineralogi sangat penting kerana ia akan menentukan kualiti pasir silika. Sehubungan dengan itu juga, dalam kandungan pasir silika terdapat mineral yang tidak dikehendaki yang wujud dalam bentuk sekutuan atau berasingan. Dua jenis bendasing wujud bersama-sama pasir silika, iaitu yang boleh dipisahkan secara fizikal dan bendasing yang hanya boleh disingkirkan secara kimia. Pemisahan secara fizikal boleh dilakukan dengan menggunakan alat pengasingan graviti dan alat pengasingan magnetik. Jadual 2.4 menunjukkan mineral berat dan mineral ringan yang sering terdapat dalam enapan pasir silika (Hashim, 1996).

Jadual 2.4 : Graviti spesifik bagi mineral berat dan mineral ringan (Hashim, 1996).

Mineral berat	Graviti spesifik	Mineral ringan	Graviti spesifik
Biotit	2.8-3.2	Kalsit	2.72
Mika	2.76-3.1	Dolomit	2.85
Turmalin	3.0-3.25	Muskovit	2.76-3.1
Flourit	3.18	Glaukonit	2.2-2.8
Hornblend	3.2	Klorit-Serpentina	2.5-3.0
Ilmenit	4.7	Plagioklas	2.72
Zirkon	4.68		
Pirit	5.0		
Hematit	4.8-5.3		

Mineral yang bersifat magnetik seperti ilmenit dan mika, secara mudah dapat diasingkan dengan pasir yang tidak bersifat magnetik. Sebaliknya, mineral yang tidak boleh dipisahkan secara fizikal, pembersihan secara kimia dapat digunakan misalnya penggunaan asid melalui proses gosokan

pergeseran untuk melarutkan besi oksida yang melekat di permukaan pasir sebagai karat (Hashim, 1996; Hurlbut, 1950).

2.5 Pemrosesan mineral silika

Pemrosesan pasir silika dapat dibahagikan kepada proses secara pengkonsentratan graviti, proses gosokan pergeseran dan proses pengasingan mineral bermagnetik

2.5.1 Pengkonsentratan Graviti

Mengikut Wills (1992) dan Pryor (1978) kaedah pengkonsentratan graviti digunakan untuk mengasingkan mineral mengikut perbezaan spesifik graviti mineral secara relatif. Pilin adalah satu alat yang menggunakan prinsip graviti bagi mengasingkan pasir silika dengan bahan seperti selut dan bahan berkarbon. Mengikut Mackay dan Schnellmann (2000), pilin pemekat adalah alat pengasingan mineral secara graviti yang mengasingkan mineral yang berketumpatan rendah dalam julat saiz 2 mm – 0.075 mm daripada mineral yang berketumpatan tinggi. Peratusan pepejal bagi pilin adalah 20 hingga 40% pepejal (bentuk buburan). Ini bergantung kepada sifat-sifat bahan yang hendak diasingkan dan juga kecekapan yang hendak dicapai bagi pilin konsentrator.

2.5.2 Gosokan pergeseran

Tujuan proses gosokan pergeseran ialah untuk membuang atau melonggarkan bahan tersimen dan lain-lain salutan seperti lumuran ferum oksida daripada permukaan pasir silika secara mekanikal. Gosokan

pergeseran akan mewujudkan permukaan baru menjadikan kualiti pasir bertambah baik dengan kandungan SiO_2 adalah tinggi (Hashim, dan Azizli, 1996) dan Pryor (1978). Proses gosokan pergeseran dijalankan dengan memasukkan buburan 70 - 75% pepejal (berat/berat) ke dalam satu bekas dan diadukkan pada kelajuan tinggi.

Segrove dan Stanyon(1970) menyatakan keberkesanan gosokan berlaku pada pH di bawah 3 dan dalam beralkali pH lebih dari 10. Bagi gosokan pergeseran keadaan berasid, asid sulfurik atau asid hidroklorik digunakan dengan kawalan pH.

Banza dan rakan-rakan (2006) dalam kajiannya ke atas pasir sedimen dan luluhawa yang mengandungi banyak selut dan permukaan mineral yang kotor teruk mendapati pengosokan yang kuat lebih kurang 30 minit boleh meningkatkan kandungan SiO_2 .

2.5.3 Alat pengasingan magnetik

Pengasingan mineral reja dan kuarza yang terdapat dalam kandungan sampel pasir silika bergantung kepada beberapa sifat semulajadi mineral. Sifat-sifat yang wujud pada mineral tersebut akan memudahkan untuk dipisahkan di antara satu mineral dengan mineral yang lain. Antara sifat-sifatnya adalah kekonduktiviti elektrik, kemagnetan dan spesifik graviti (Wills, 1992).

Jadual 2.5 menunjukkan ciri-ciri mineral tipikal yang biasa ditemui bersama dengan pasir silika. Mineral yang bersifat magnetik selalunya terjadi apabila kehadiran unsur Fe seperti dalam illmenit, pirit dan hematit atau butiran kuarza yang dilumuri (*stained*) dengan oksida. Mineral sebegini dapat

diasingkan dengan menggunakan alat pengasingan magnetik (Fawell, 1997; Jamieson dan rakan-rakan, 2006).

Jadual 2.5: Sifat kekonduktiviti, kemagnetan dan graviti spesifik mineral yang terdapat bersama-sama dengan pasir silika (Wills, 1992)

Mineral	Komposisi kimia	Graviti spesifik	Kecenderungan Magnetik	Kekonduktiviti elektrik
Kuarza	SiO ₂	2.65	Terlalu rendah	Lemah
Kasiterit	SnO ₂	6.95	Sangat rendah	Sederhana
Kolumbit	(Fe,Mn)(Cb,Ta) ₂ O ₆	6.3	Rendah	Baik
Epidot	Ca ₂ (Al,Fe) ₃ (SiO ₄) ₃ (OH)	3.4	Rendah	Lemah
Hematit	Fe ₂ O ₃	5.1	Rendah	Baik
Ilmenit	FeOTiO ₂	4.75	Tinggi ke sederhana	Baik
Magnetit	Fe ₃ O ₄	5.18	Tinggi	Baik
Monazit	(Ce,La,Yt)PO ₄	5.27	Sederhana	Lemah
Pirit	FeS ₂	4.95	Sangat rendah	Baik
Rutil	TiO ₂	4.2	Terlalu rendah	Sederhana
Topaz	Al ₂ F ₂ SiO ₄	3.55	Terlalu rendah	Lemah
Toumalin	-	3.09	Rendah	Sederhana ke lemah
Zirkon	ZrSiO ₄	4.7	Sangat rendah	Lemah

Menurut Wills (1992), sifat mineral terhadap medan boleh dikategorikan kepada dua kumpulan utama, iaitu diamagnetik dan paramagnetik. Mineral diamagnetik tidak tertarik ke arah medan magnet. Daya yang terlibat adalah sangat kecil dan diamagnetik tidak dapat dikonsentratkan secara magnetik. Contohnya ialah mineral zirkon dan kuarza. Manakala mineral paramagnetik pula adalah mineral yang tertarik terhadap medan magnet. Mineral

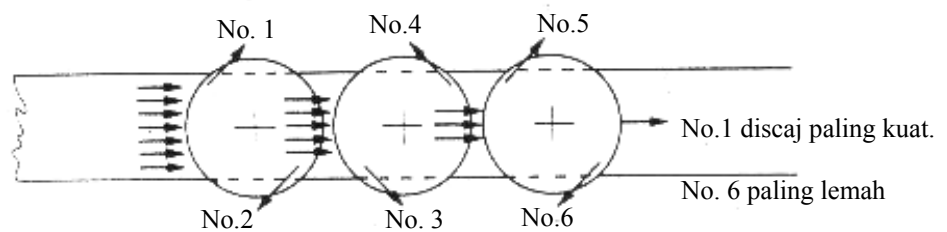
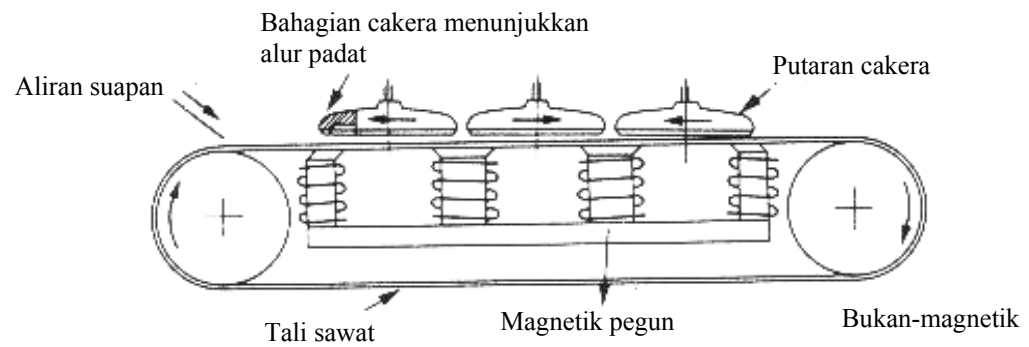
paramagnetik boleh dikonsentrat dengan pengasing magnetik keamatan tinggi. Contoh mineral paramagnetik yang diasingkan dengan pengasing magnetik ialah ilmenit dan monazit. Di samping itu terdapat mineral yang boleh menyimpan daya magnet walaupun dikeluarkan daripada medan magnet seperti magnetit. Kumpulan ini dinamakan feromagnetik ataupun mineral paramagnetik yang istimewa (Fawell, 1997; Jamieson dan rakan-rakan, 2006).

2.5.4 Jenis-jenis pengasing magnetik

Terdapat dua jenis pengasing magnetik iaitu keamatan rendah dan keamatan tinggi seterusnya dapat dipecahkan lagi kepada pengasing suapan kering dan pengasing suapan basah (Wills, 1992).

a) Pengasing magnetik keamatan rendah

Rajah 2.2 menunjukkan satu contoh alat pengasing magnetik berkeamatan rendah yang beroperasi dalam keadaan kering. Pasir silika yang telah dikeringkan disuap ke atas tali sawat secara seragam yang bergerak di dalam medan magnet. Mineral yang bersifat magnet akan tertarik pada cakera yang bersifat magnet. Kemagnetan pada cakera akan berkurangan apabila ia menjauhi medan magnet. Mineral yang tidak bersifat magnet akan kekal di atas tali sawat dan dikumpulkan di bahagian hujung talisawat (Jamieson dan rakan-rakan, 2006).



Rajah 2.2: Lakaran pengasing keamatan rendah (Jamieson dan rakan-rakan, 2006)

c) Pengasing tegangan tinggi

Penggunaan pengasing tegangan tinggi bergantung kepada kekonduktiviti elektrik mineral. Oleh kerana mineral mempamerkan perbezaan dari segi kekonduktiviti elektrik, jadi ia sangat sesuai digunakan untuk pengasingan mineral dalam keadaan kering (Wills, 1992; Fawell, 1997).

2.6 Pengenalan mengenai kaca

Mengikut Sahar (1998), beberapa takrifan dapat dijelaskan mengenai kaca.

Antara takrifannya adalah seperti berikut:

- a) Kaca adalah suatu produk bukan organik yang dihasilkan melalui proses peleburan campuran bahan, kemudian disejukkan kepada keadaan pepejal yang tegar (*supercooled liquid*) tanpa mengalami penghabluran (*crystallisation*).
- b) Kaca adalah suatu bahan yang terbentuk hasil daripada penyejukan bahan tersebut daripada keadaan cecair tanpa mengalami sebarang sifat yang tidak selanjut kepada suatu keadaan yang mana kelikatan bahan semakin bertambah.
- c) Kaca adalah suatu bahan yang sentiasa memperlihatkan tertib julat pendek apabila dikenakan sinar-X.
- d) Kaca adalah sebarang cecair yang mempunyai kelikatan disekitar 10^{12} poise (P) hingga 10^{14} P.
- e) Kaca juga adalah suatu kumpulan bahan yang mempunyai ciri seperti lutsinar dan lembut apabila dipanaskan pada suhu tertentu.

2.6.1 Teori pembentukan kaca

Mengikut Shelby (1997) dan Sahar (1998), teori tentang pembentukan kaca telah dimulakan sejak tahun 1930-an lagi. Walau bagaimanapun, teori yang diperkenalkan hanya berkisar pada kaca oksida sahaja. Bagi kaca lain, pengubahsuaian kepada teori yang sedia ada harus dilakukan, terutama dengan terhasilnya beberapa kaca yang terbentuk tetapi menyalahi daripada teori pembentukan asal. Bagi sesetengah kaca yang komposisinya lebih kompleks, kajian tentang teori pembentukannya masih diteruskan.

(a) Hipotesis Zachariasen

Pada tahun 1932 Zachariasen memperkenalkan teori rangkaian rawak yang menerangkan pembentukan kaca. Ia berpendapat daya antara atom di dalam kaca dengan dalam hablur seharusnya sama, iaitu atom sentiasa bergetar pada posisi keseimbangannya. Dengan asas ini, atom harus dihubungkan dengan rangkaian tiga dimensi sama ada dalam keadaan hablur atau kaca. Walau bagaimanapun, hubungan rangkaian atom dalam kaca adalah tidak berkala (tidak seperti hablur) kerana ia tidak memberikan corak pantulan pada spektrum sinar-X. Teori rangkaian rawak juga mencadangkan bahawa kandungan tenaga dalam keadaan kaca tidak jauh berbeza dengan keadaan hablur. Oleh itu, nombor koordinasi dalam keadaan kaca harus sama dengan keadaan hablur. Pada kaca, keadaan kekisi adalah terperonyok pada sudut ikatan tertentu sehingga unit struktur dapat tersusun walaupun dengan keadaan tiada kalaan. Keadaan seperti ini akan menyebabkan pembentukan rangkaian rawak.

Berdasarkan teori rangkaian rawak didapati bahawa kaca oksida boleh terbentuk apabila memenuhi syarat-syarat berikut iaitu;

- (a) Atom oksigen (O) harus tidak terikat kepada lebih daripada 2 atom logam (M).
- (b) Bilangan oksigen yang mengelilingi atom logam harus kecil.
- (c) Polihedra oksigen harus berkongsi di bahagian sudut, bukan di sebelah muka atau tepi
- (d) Sekurang-kurangnya 3 sudut atom oksigen bagi setiap polihedra harus dikongsi.

Oksida yang memenuhi syarat tersebut boleh ditulis secara am sebagai M_xO_y . Ini akan menjadikan oksida seperti B_2O_3 , SiO_2 , GeO_2 , P_2O_5 dan As_2O_5 sebagai bahan pembentuk kaca. Oksida tersebut dapat membentuk unit tetrahedra seperti BO_4 , SiO_4 , GeO_4 , PO_4 dan AsO_4 dalam keadaan hablur. Oksida lain yang berbentuk seperti Mo atau M_2O tidak akan membentuk kaca kerana tidak memenuhi syarat yang dinyatakan tadi. Jadual 2.6 menunjukkan nombor koordinasi bagi beberapa unsur seperti boron, silikon dan lain-lain.

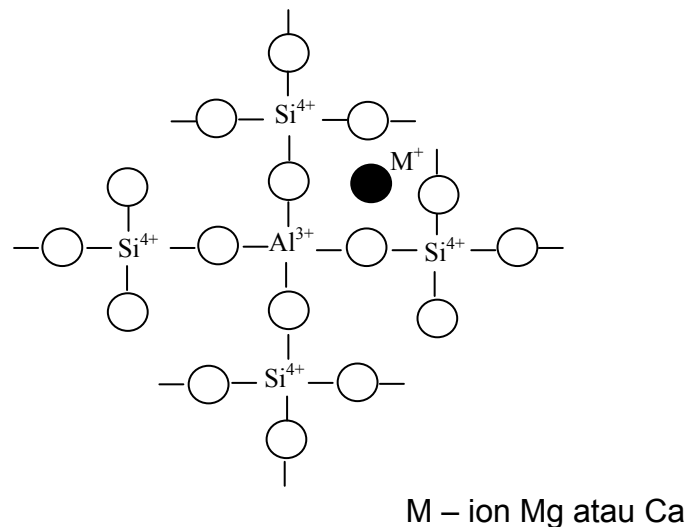
Jadual 2.6: Nombor koordinasi beberapa jenis unsur (Shelby, 1997)

Unsur	Nombor koordinasi
B	3
Si	4
Pb	2
Ca	8
Na	6

Diperhatikan bahawa nombor koordinasi bagi atom B ialah 3 manakala dalam oksida B_2O_3 juga adalah sama. Begitu juga dengan oksida lain seperti SiO_4 . Ini menjelaskan bahawa hipotesis di atas, iaitu nombor koordinasi bagi kation M harus sama atau hampir dengan yang terdapat pada hablur.

Namun begitu, terdapat juga oksida yang tidak mampu membentuk kaca secara sendirian. Walau bagaimanapun apabila oksida ini dicampurkan dengan oksida lain, kaca akan terbentuk malah ia sendiri mengambil peranan dalam pembentukan unit struktur kaca. Oksida ini dipanggil oksida

pertengahan. Contoh yang paling baik adalah Al_2O_3 . Bahan ini tidak dapat membentuk kaca secara sendirian, tetapi jika bercampur dengan oksida lain seperti MgO atau CaO maka kaca yang stabil akan terbentuk. Apabila oksida pertengahan dicampurkan dengan oksida pembentuk kaca seperti SiO_2 , ia bukan hanya mengambil peranan dalam pembentukan kaca malah akan menyebabkan sifat kaca berubah. Ini kerana Al mempunyai cas +3 berbanding Si yang mempunyai +4. Oleh kerana itu Al kekurangan +1 cas, maka untuk keseimbangan diperlukan +1 cas lagi ion alkali yang terletak di celahan rangkaian pembentuk kaca, Rajah 2.3.



Rajah 2.3: Perubahan struktur rangkaian oleh oksida pertengahan (John, 2000)

Terdapat juga oksida yang tidak mengambil bahagian dalam pembentukan kaca, tetapi bertindak sebagai pelemah rangkaian dan secara tidak langsung mengubahsui sifat kaca yang dihasilkan seperti oksida Na_2O . Jika Na_2O dicampurkan dengan SiO_2 , didapati Na_2O berupaya memutuskan ikatan oksigen menjadikan dua atom oksigen yang tidak bersambung (Rajah 2.4). Jenis ikatan ini lebih lemah berbanding dengan ikatan asal.